

Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów

KIERUNEK: Automatyka i Robotyka (AIR)
SPECJALNOŚĆ: Robotyka (ARR)

PRACA DYPLOMOWA INŻYNIERSKA

TYTUŁ PRACY:
Dalmierz ultradźwiękowy z mikrofonami
MEMS

AUTOR:
Krystian Mirek

PROMOTOR:
Dr inż. Bogdan Kreczmer,
Katedra Cybernetyki i Robotyki

Robert Muszyński, Roberto Orozco
Wrocław 2022



Szablon jest dostępny na licencji Creative Commons: *Uznanie autorstwa-Na tych samych warunkach 4.0 Polska*

Utwór udostępniany na licencji Creative Commons: uznanie autorstwa, na tych samych warunkach. Udziela się zezwolenia do kopiowania, rozpowszechniania i/lub modyfikacji treści utworu zgodnie z zasadami w/w licencji opublikowanej przez Creative Commons. Licencja wymaga podania oryginalnego autora utworu, a dystrybucja materiałów pochodnych może odbywać się tylko na tych samych warunkach (nie można zastrzec, w jakikolwiek sposób ograniczyć, ani rozszerzyć praw do nich). Tekst licencji jest dostępny pod adresem: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.pl>. Podczas redakcji pracy dyplomowej notkę tę można usunąć, licencja dotyczy bowiem zredagowanego opisu, a nie samego latechowego szablonu. Szablon można wykorzystywać bez wzmiankowania o jego autorze.

Spis treści

1	Wstęp	4
2	Cel i założenia	5
3	Przegląd czujników ultradźwiękowych	6
3.1	Dobór odbiornika	6
3.2	Komercyjne rozwiązania	7
4	Analiza problemu	8
4.1	Plan urządzenia	8
4.2	Rozmieszczenie elementów nadawczych i odbiorczych	8
4.3	Generowanie i odbieranie sygnału ultradźwiękowego	9
4.4	Komunikacja	9
5	Specyfikacja realizacji sonaru ultradźwiękowego	11
6	Projekt konstrukcji sonaru oraz protokoły komunikacji	12
6.1	Komunikacja	12
6.1.1	Wybór protokołu	12
6.1.2	Komputer → sonar	12
6.1.3	Sonar → komputer	12
6.2	Konstrukcja układów elektronicznych sonaru	13
6.2.1	Zasilanie	13
6.2.2	Nadajnik	13
6.2.3	Wzmacniacz nadajnika	14
6.2.4	Filtry sygnału audio	15
6.2.5	Progowanie sygnału	16
6.3	Konfiguracja mikrokontrolera	16
7	Realizacja sonaru ultradźwiękowego	18
7.1	PCB	18
7.2	Moduł nadawczo-odbiorczy	18
7.3	shield	18
8	Testy i eksperymenty	20
8.1	Test przetwornika piezoelektrycznego	20
8.2	Test wpływu odległości na sygnał	20
8.3	Pierwsze uruchomienie	21
8.4	Uruchomienie i test wzmacniacza sygnału przetwornika piezoelektrycznego	21
8.5	Test mikrofonów i filtrów	21

Spis treści	3
9 Podsumowanie i wnioski	23
Literatura	24
Spis rysunków	25
A Schematy i noty katalogowe	26

Rozdział 1

Wstęp

Celem rozdziału jest zaprezentowanie podstawowych informacji dotyczących dalmierzy ultradźwiękowych, zasady działania i ich zastosowania w przemyśle, nauce oraz życiu codziennym. Ma on również za zadanie przybliżyć rozwinięcia skrótów powszechnie używanych w tej dziedzinie.

Rozdział 2

Cel i założenia

Popularne dalmierze ultradźwiękowe wykorzystują przetworniki piezoelektryczne jako nadajniki i odbiorniki. Ich średnice wahają się w granicach od 10mm do 20mm. W przypadku prostych dalmierzy, gdy wyznaczana jest tylko odległość do obiektu, ich rozmiar nie jest krytyczny. Jednak w konstrukcjach sonarów ultradźwiękowych, które mają wyznaczyć również kierunek przylotu sygnału, rozmiar ten jest istotny. Jeżeli kierunek przylotu jest wyznaczany w oparciu o przesunięcie fazy odbieranego sygnału, wzajemna odległość odbiorników nie powinna przekraczać pół długości fali emitowanego sygnału. Wykorzystywane powszechnie przetworniki ultradźwiękowe pracują z częstotliwością 40kHz. Pół długości fali akustycznej w powietrzu dla tej częstotliwości to ok. 4,3mm. Drugim warunkiem stosowalności tego podejścia jest to, aby odbiorniki sygnału można było modelować jako punkty materialne. Od strony technicznej oznacza to, że apertury tych odbiorników powinny być możliwe małe w stosunku do długości fali. Kryteriów tych nie spełniają popularne odbiorniki piezoelektryczne.

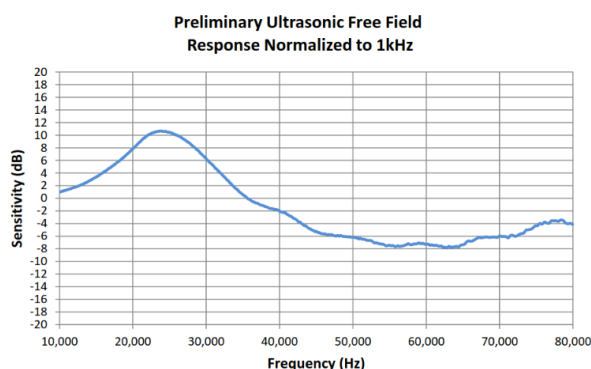
Celem niniejszej pracy jest konstrukcja sonaru pozwalającego wyznaczyć odległość do miejsca odbicia sygnału oraz kierunku nadejścia sygnału. Pozwalać ma to tym samym na precyzyjną lokalizację obiektu. Zakłada się, że źródłem sygnału będzie przetwornik piezoelektryczny pracujący z częstotliwością 40 kHz. Wyznaczanie kierunku przylotu ma zostać zrealizowane w oparciu o przesunięcie fazy odbieranego sygnału. Chcąc spełnić opisane powyżej warunki, jako odbiorniki zostaną zastosowane 3 mikrofony analogowe produkowane w technologii MEMS. Sonar powinien udostępniać komunikację poprzez interfejs USB. Dostępna powinna być też możliwość konfiguracji jego pracy, tzn. ilość pobudzeń generujących emitowany sygnał oraz czas opóźnienia przejścia w tryb odbioru. W ramach niniejsze pracy należy też zrealizować podstawowe oprogramowanie dla komputera typu PC, które pozwoli sterować sonarem, wykonać niezbędne pomiary oraz obliczenia. Dysponując tym oprogramowaniem należy przeprowadzić serię eksperymentów, które pozwolą zbadać i zweryfikować podstawowe własności sonaru. Ponadto oprogramowanie mikrokontrolera należy zdokumentować w systemie doxygen.

Rozdział 3

Przegląd czujników ultradźwiękowych

3.1 Dobór odbiornika

Wymagania jakie powinien spełniać odbiornik wynikają bezpośrednio z założeń projektu. Pierwszym z nich jest zakres pasma przenoszenia czujnika który obejmie częstotliwość 40 kHz na akceptowalnym poziomie sygnału, czyli takiej częstotliwości na jakiej pracuje w rezonansie większość nadajników piezoelektrycznych dostępnych na rynku.



Rysunek 3.1 Pasma przenoszenia mikrofonu SPU0410LR5H-QB

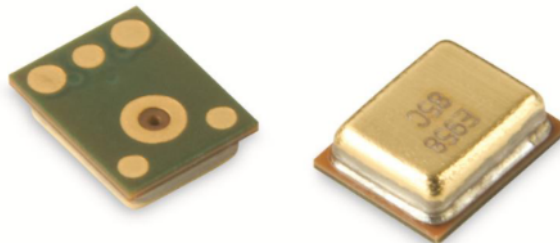
Następnym wymaganiem jest rozmiar, by móc interpolować kierunek przyjscia sygnału w zakresie 180°, odległość między odbiornikami nie powinna przekraczać pół długości fali czyli 4,25 mm*. Wszystkie czujniki tak małych rozmiarów są produkowane w technologii MEMS. Kolejnym wymaganiem jest takie umieszczenie

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{340,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{40 \text{ kHz}} = 0,0085 \text{ m} = 8,5 \text{ mm}$$

Rysunek 3.2 Obliczenie długości fali

*W powietrzu, w temperaturze 15 °C, prędkość rozchodzenia się dźwięku jest równa 340,3 m/s [Wik]

otworu ciśnieniowego w obudowie, by skierowany był on wewnątrz laminatu obwodu drukowanego. Taka konstrukcja pozwala na stworzenie płaskiej powierzchni tylko z otworami ciśnieniowymi czujników, co przekłada się na mniejsze zakłócenia spowodowane odbiciami fali dźwiękowej od elementów elektronicznych.



Rysunek 3.3 Mikrofon SPU0410LR5H-QB

Ostatecznym wymaganiem była dostępność i przystępność cenowa produktu. Ze względu na tak rygorystyczne oczekiwania wybór zawęził się zaledwie do kilku pozycji. Jedną z nich był mikrofon SPU0410LR5H-QB marki Knowles[\[kno\]](#), który w odpowiedniej ilości został dostarczony przez Promotora.

3.2 Komercyjne rozwiązania

Na rynku znajduje się bardzo dużo ultradźwiękowych czujników odległości, ale względnie niewiele firm oferuje sonary bez ruchomych elementów. Czołowym producentem urządzeń w takiej technologii jest TOPOSENS ze swoim produktem o nazwie ECHO ONE®. Zdjęcia produktu sugerują, że posiada on ultradźwiękowy nadajnik oraz trzy odbiorniki we wzorze tworzącym kąt prosty.



Rysunek 3.4 TOPOSENS ECHO ONE

Rozdział 4

Analiza problemu

4.1 Plan urządzenia

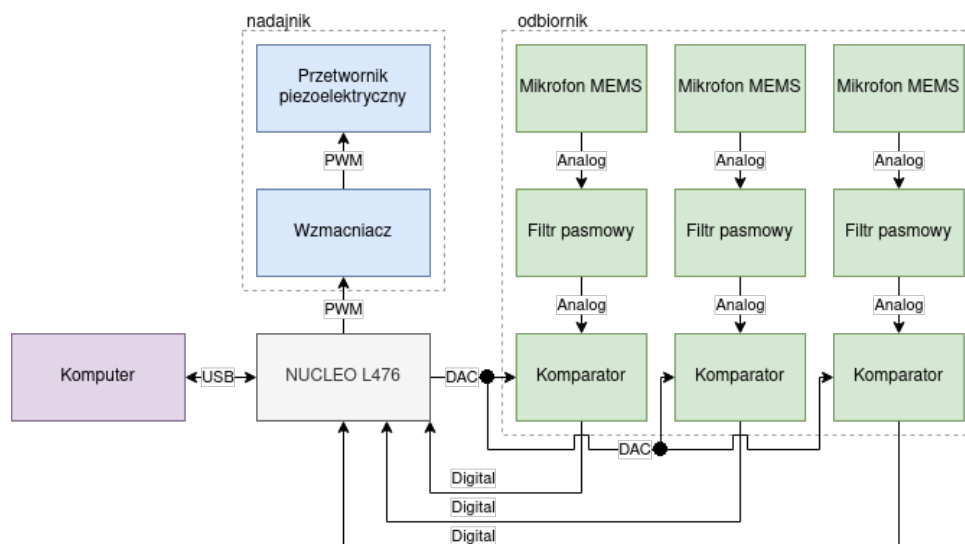
Założenia konstrukcyjne to przede wszystkim prostota budowy, modularność i skrócenie czasu realizacji. Płytką deweloperską wysyła określoną przez użytkownika liczbę przebiegów sygnału PWM (Pulse Width Modulation), następnie sygnał jest ten wzmacniany do poziomu aż 80 V by uzyskać maksymalną wydajność i trafia na przetwornik piezoelektryczny który generuje falę ultradźwiękową. Fala ta po odbiciu się od obiektu w polu wykrywania sonaru trafia z powrotem do urządzenia a konkretniej do mikrofonów MEMS umieszczonych na czole obudowy. Sygnał z mikrofonów jest filtrowany by przepuścić tylko porządane przez nas częstotliwości bliskie częstotliwości nadajnika, oraz wzmacniany w celu lepszej interpretacji przez dalsze układy.

Po przefiltrowaniu, sygnał jest progowany. Mikrokontroler za pomocą przetwornika DAC ustala poziom napięcia, który wyznaczy granicę pomiędzy wysokim a niskim stanem logicznym. To rozróżnienie jest nam potrzebne do pobudzenia cyfrowego wejścia licznika, zmienność tej wartości pozwala nam również na reagowanie tylko na sygnał o odpowiedniej amplitudzie by móc z powrotem obniżyć próg do miejsca przecięcia się sinusoidy z napięciem odniesienia, gdzie dokładność pomiaru jest największa. Mikroprocesor dzięki wspomnianym wcześniej licznikom odmierza czas między zboczami rosnącymi zprogowanego już sygnału. Wszystkie pomiary czasów przecięć z trzech odbiorników są wysyłane we wspólnej ramce danych do komputera gdzie za pomocą różnic w tych czasach wyznaczony zostanie dystans obiektu oraz jego odchylenie względem sonaru. Rys [4.1](#)

4.2 Rozmieszczenie elementów nadawczych i odbiorczych

Rozmieszczenie odbiorników jest kluczowym elementem pomiaru, to dzięki znajomości odległości mikrofonów i różnic w czasach dotarcia sygnału jesteśmy w stanie określić kąt pod którym fala dźwiękowa trafia do urządzenia. Do uzyskania pełnego zakresu w trzech osiach, wymagane są co najmniej trzy odbiorniki:

- Mikrofon 0 – mikrofon odniesienia, znajduje się on w centralnym punkcie, to



Rysunek 4.1 Schemat blokowy urządzenia

według niego wyznacza będzie odległość od obiektu.

- Mikrofon X – na podstawie pomiaru z tego mikrofonu wyznacza się kąt odchylenia w osi X
- Mikrofon Y – na podstawie pomiaru z tego mikrofonu wyznacza się kąt odchylenia w osi Y

● Mikrofon Y

Mikrofon X ●

● Mikrofon 0

Rysunek 4.2 Rozmieszczenie mikrofonów

4.3 Generowanie i odbieranie sygnału ultradźwiękowego

4.4 Komunikacja

Komunikacja komputera typu PC z płytą deweloperską Nucleo na której bazowany jest projekt odbędzie się przy pomocy portu szeregowego. Każdy nowoczesny komputer posiada złącze USB, które miało niezwykle wpływ na standaryzacje interfejsów w urządzeniach użytkowych, większość płytek deweloperskich również

posiada wbudowane gniazdo USB z portem szeregowym, dlatego też wybór tego rodzaju komunikacji wydaje się wręcz oczywistą decyzją. Tym samym złączem wgrywany jest również program do pamięci mikrokontrolera co jeszcze bardziej upraszcza stanowisko testowe. Dane będą wysyłane w postaci tekstu w formie „pytanie-odpowiedź”, zagwarantuje to większą elastyczność i możliwość zmiany parametrów urządzenia bez konieczności zmiany programu. W celu uruchomienia sekwencji wykrywania obiektu operator powinien wysłać komendę przykładowo o nazwie "START". Komenda taka posiadać będzie swoje ID w formie pojedynczej cyfry, pozwoli to zmniejszyć ilość znaków zamieszczanych w ramce danych. Komunikacja tekstowa przede wszystkim pozwala na weryfikację danych przez standardowy terminal tekstowy. Ramka danych rozpocznie się znakiem „X”, pomoże to programowi odfiltrować tylko dane przeznaczone dla niego. „X” został wybrany ze względu na to, że znak ten na pewno nie będzie występował w treści wiadomości w żadnej postaci. Wiadomość startu wraz z opcjonalnymi parametrami takimi jak ilość impulsów do wyemitowania czy próg czułości wykrywania sygnału wysłane są bajt po bajcie do urządzenia. Sonar rozpoznając znak początku ramki przechodzi dalej do odczytywania ID komendy oraz jej parametrów, po odebraniu całej wiadomości program zaczyna sekwencję pomiaru. Następnie urządzenie wysyła do użytkownika odpowiedź, standardowo zaczyna znakiem rozpoznawczym a następnie zwraca numer ID komendy na którą ta wiadomość jest odpowiedzią, status wykonania zadania, w formie kodów błędów, liczba wykrytych przecięć zer, czas kontrolny, oraz wartości liczników z każdego ze składowych pomiaru. Dane będą przetwarzane przez operacje na obiektach typu string. Pozwoli to na wycięcie odpowiednich wartości ze scalonej ramki wysłanej jako jeden długi ciąg znaków.

sprawdzić
czy na pewno

Rozdział 5

Specyfikacja realizacji sonaru ultradźwiękowego

W tej części trzeba podać jakie będą udostępniane funkcjonalności, jak mają być realizowane pomiary, jakie polecenia będzie można przysyłać do urządzenia, przewidywane parametry, np. częstość powtórzeń pomiarów, zakres zmiany ilości sygnałów pobudzenia, zakres zmian wypełnienia impulsów itp.

Rozdział 6

Projekt konstrukcji sonaru oraz protokoły komunikacji

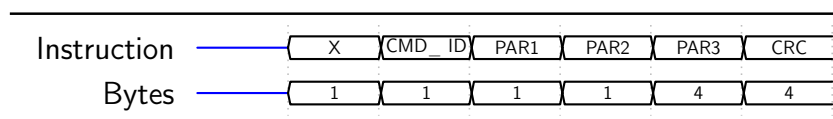
6.1 Komunikacja

6.1.1 Wybór protokołu

Wybrany został protokół UART, ze względu na to, że płytki deweloperska STM32 NUCLEO-L476RG z której skorzystano w projekcie posiada wbudowany konwerter UART→USB, co pozwala na skomunikowanie mikrokontrolera z komputerem bez dodatkowego sprzętu.

6.1.2 Komputer → sonar

Użytkownik systemu może wysłać z komputera instrukcję do wywołania całej sekwencji działania urządzenia. Ramka danych zaczyna się znakiem, który nie będzie nigdy występował ułatwiającym rozpoznanie wiadomości, następnie musi zostać podany numer komendy informujący sonar jaką czynność powinien wykonać, parametry określające warunki tej czynności, a na koniec suma kontrolna wiadomości.



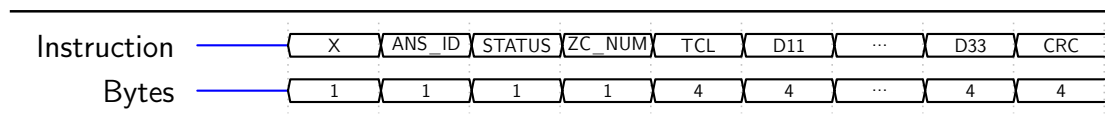
Rysunek 6.1 Ramka danych przychodzących

6.1.3 Sonar → komputer

Sonar w odpowiedzi na instrukcję wysyła ramkę danych która również zaczyna się znakiem specjalnym, następnie podawany jest numer komendy na którą sonar odpowiada, status wykonania, dane pomiarowe oraz suma kontrolna.

zrobić ładniejszą ramkę

zrobić ładniejszą ramkę



Rysunek 6.2 Ramka danych wychodzących

6.2 Konstrukcja układów elektronicznych sonaru

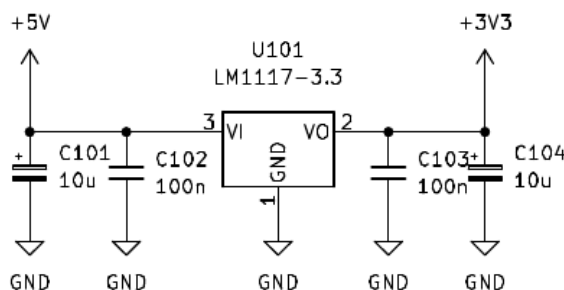
Projekt bazuje na autorskiej płytce z obwodem drukowanym, który został zaprojektowany przy pomocy otwartoźródłowego narzędzia do projektowania elektroniki „KiCad” [KiC]. Całe urządzenie składa się z płytki deweloperskiej oraz zaprojektowanego na cele pracy dyplomowej PCB*, które jest podłączone do Nucleo w formie „shieldu” poprzez listwy kołkowe. Całą elektronikę można podzielić na kilka bloków, które spełniają określone funkcje, jest to między innymi sekcja zasilania, część nadawcza, część odbiorcza, zestaw filtrów sygnału przychodzącego oraz komparatory progujące sygnał.

pokazać jak wygląda shield

wstawić diagram funkcjonalny

6.2.1 Zasilanie

Całe urządzenie zasilane jest z portu USB komputera, które jednocześnie służy do komunikacji. Przewód jest podłączony bezpośrednio do płytki deweloperskiej Nucleo, gdyż posiada ona już wbudowane złącze. Mimo, że płytka deweloperska posiada wyprowadzenia zarówno 5V jak i 3,3V, postanowiłem zaimplementować układ stabilizatora liniowego obniżającego napięcie do 3,3V w celu lepszej izolacji zasilania układów analogowych od cyfrowych co powinno przełożyć się na mniejsze zakłócenia.



Rysunek 6.3 Stabilizator napięcia

6.2.2 Nadajnik

Rolę nadajnika pełni przetwornik piezoelektryczny o średnicy 16 mm i częstotliwości rezonansowej 40 kHz, która to jest poza spektrum słyszalnych częstotliwości.

dodać model przetwornika

dodać źródło

*Printed Circuit Board

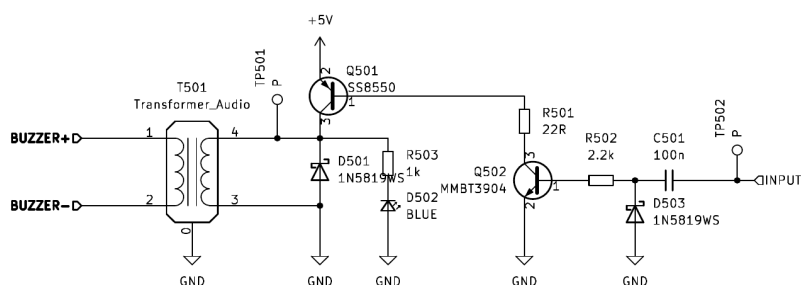


Rysunek 6.4 Nadajnik piezoelektryczny

6.2.3 Wzmacniacz nadajnika

W celu uzyskania mocnego sygnału ultradźwiękowego z przetwornika piezoelektrycznego zaprojektowano układ wzmacniający z transformatorem. Sygnał nadający częstotliwość wysyłany jest z mikroprocesora, następnie jest wzmacniany parą tranzystorów, razem tworzących układ Darlingtona, który zapewnia duże wzmocnienie prądowe sygnału i zachowuje krótkie czasy przełączania charakterystyczne dla tranzystorów bipolarnych. Transformator w tym układzie służy do podniesienia napięcia które trafia na przetwornik, docelowo jest to nawet szczytowo 80 V co sprawia, że sygnał jest bardzo mocny. Układ posiada również zabezpieczenie przed zbyt długim czasem otwarcia tranzystora, sygnał jest przepuszczany przez kondensator, co sprawia, że tylko szybkozmienne przebiegi są w stanie dotrzeć na bazę klucza. Zbyt długa ekspozycja transformatora na przepływ prądu mogłaby go narażać na przegrzanie. Ze względu na indukcyjny charakter uzwojeń transformatora podczas szybkiej zmiany generowanego pola magnetycznego następuje konwersja tej energii do postaci prądu zwrotnego wyindukowanego na tej cewce, aby uchronić się przed niepożądanym działaniem tego zjawiska, równoległe z uzwojeniem pierwotnym sprzężona jest dioda Schottkiego, która pozwala zniwelować ten prąd. Dodatkowo jako element ułatwiający pracę nad urządzeniem, dodany został LED, który emituje światło w trakcie przepływu prądu przez transformator.

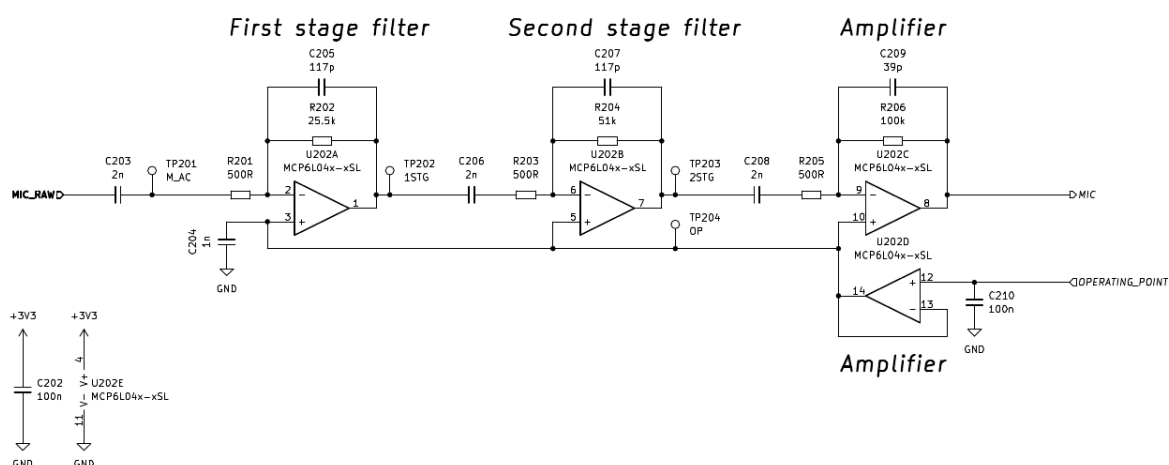
akapity



Rysunek 6.5 Wzmacniacz sygnału nadajnika piezoelektrycznego

6.2.4 Filtry sygnału audio

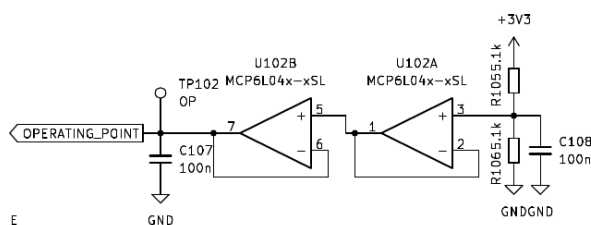
Rolę odbiorników będą pełnić trzy dookólne mikrofony MEMS, które cechują się względnie liniową charakterystyką przenoszenia pasma. Dlatego też konieczne będzie zastosowanie dla każdego z nich zestawu filtrów pasmowych, które przepuszczą nam tylko i wyłącznie częstotliwości bliskie częstotliwości sygnału jaki generuje przetwornik piezoelektryczny, a zablokują wszystkie nieporządane. Pojedynczy stopień filtra, dawałby na wyjściu zbyt niski zakres poziomu napięć, z tego powodu sygnał przechodzi przez 3 stopnie wzmacniaczy operacyjnych. Takie rozwiązanie zarówno filtruje sygnał i wzmacnia go.



Rysunek 6.6 Zestaw filtrów dla sygnału z mikrofonów

Zazwyczaj układy analogowe oparte o wzmacniacze operacyjne zasilane są napięciem symetrycznym a sygnał przemienny oscyluje wokół potencjału masy. W tym wypadku ze względu na zakres napięciowy wejść mikroprocesora do zasilania wzmacniaczy operacyjnych zostało użyte pojedyncze napięcie 3,3 V zamiast symetrycznego co oznacza, że chcąc uzyskać napięcie odniesienia w połowie zakresu zasilania należy ustalić je na poziomie 1,65 V. Tę wartość ustala dzielnik napięcia z dwóch identycznych rezystorów, a wzmacniacz operacyjny zwiększa wydajność prądową takiego źródła.

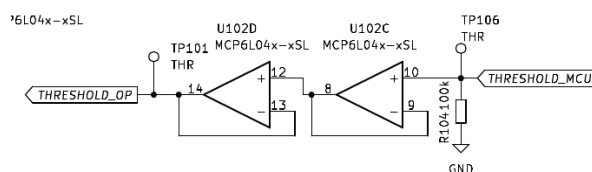
opisać obszernie wybór wzmacniaczy operacyjnych



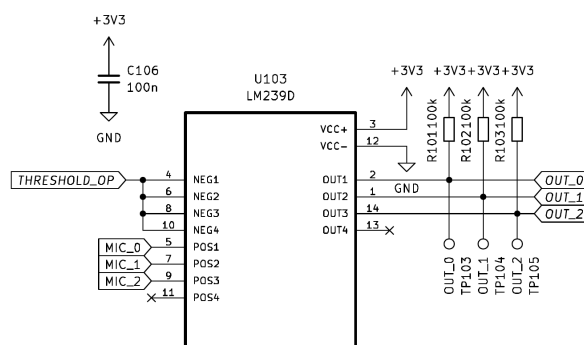
Rysunek 6.7 Wzmacniacz prądowy napięcia odniesienia

6.2.5 Progowanie sygnału

Wejścia licznika reagują na zbocza sygnału cyfrowego, co oznacza, że analogowy sygnał z wyjścia filtra musi zostać przetworzony na stany logiczne. Dokładna wartość napięcia nie jest potrzebna. Istotne są punkty przecięcia się sinusoidy z osią przebiegu. Takie zadanie idealnie spełnia komparator 6.9, próg od którego sygnał ma interpretować jako wysoki stan jest podawany w formie napięcia z przetwornika DAC mikrokontrolera dodatkowo wzmocnionego wzmacniaczem operacyjnym 6.8. Pozwala to na reagowanie tylko na falę dźwiękową o wystarczająco dużej amplitudzie, a po wykryciu mocnego sygnału wrócić z powrotem do poziomu napięcia odniesienia sygnału gdzie pomiar jest najdokładniejszy.

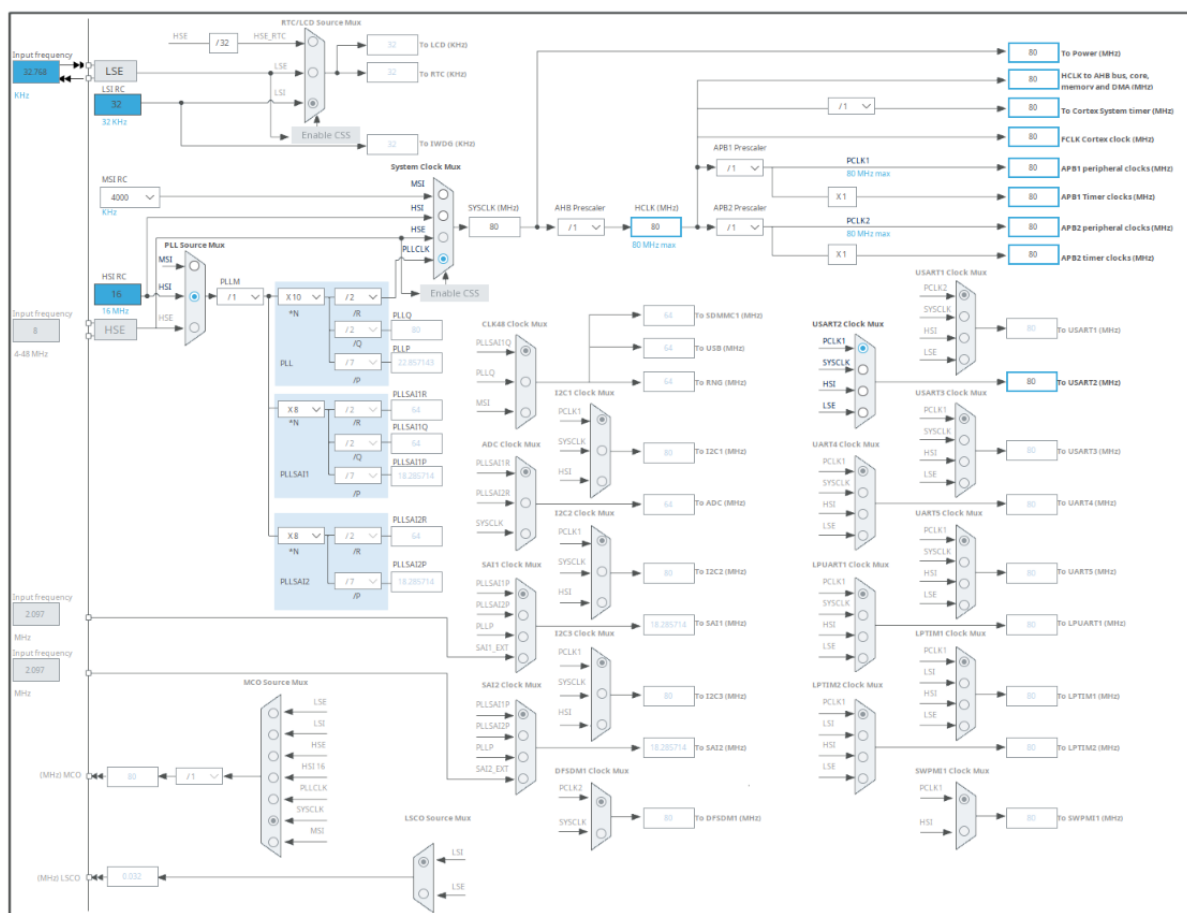
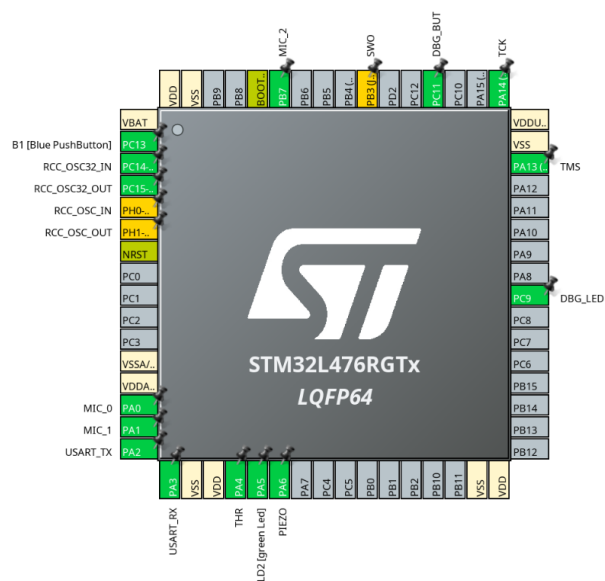


Rysunek 6.8 Wzmacniacz wartości progowej



Rysunek 6.9 Czterokanałowy komparator

6.3 Konfiguracja mikrokontrolera

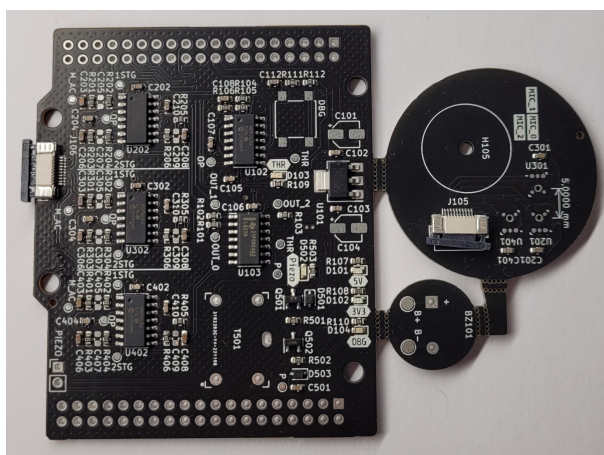


Rozdział 7

Realizacja sonaru ultradźwiękowego

Opis wykonanego urządzenia, zdjęcia. Przykłady realizacji komunikacji z urządzeniem.

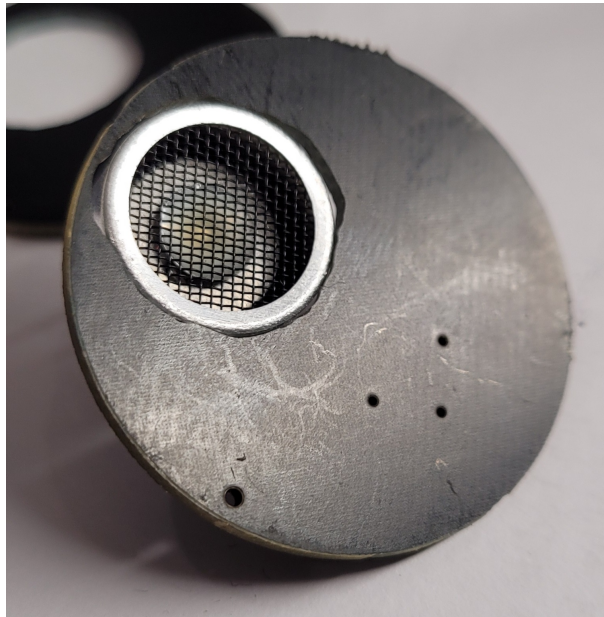
7.1 PCB



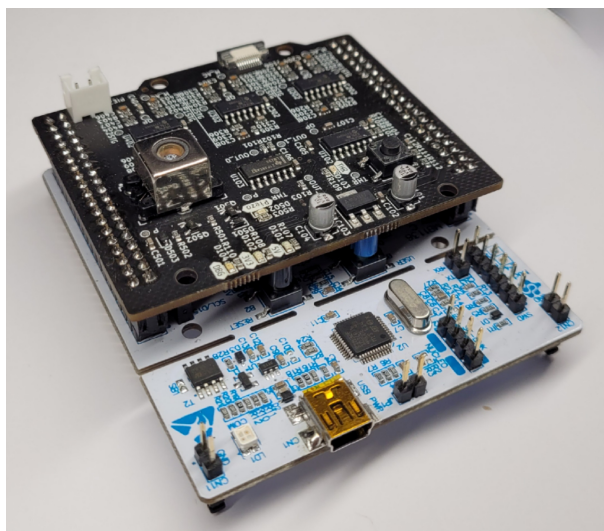
Rysunek 7.1 PCB

7.2 Moduł nadawczo-odbiorczy

7.3 shield



Rysunek 7.2 Moduł nadawczo-odbiorczy



Rysunek 7.3 Nakładka na Nucleo

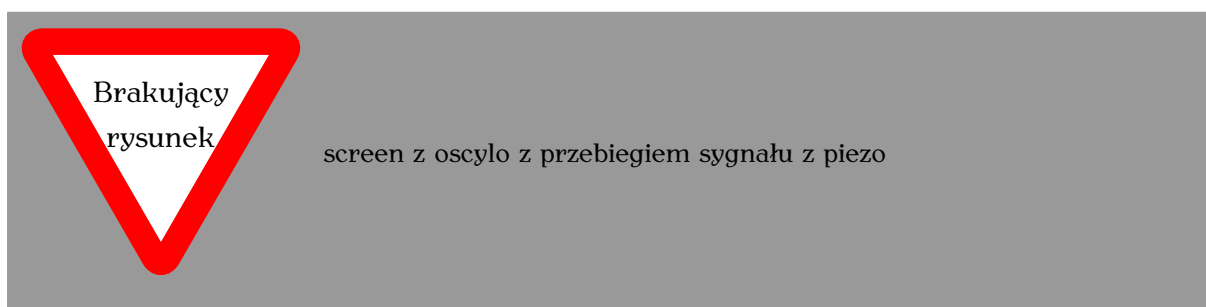
Rozdział 8

Testy i eksperymenty

Opis zrealizowanych eksperymentów, które demonstrują najważniejsze cechy urządzenia i czujnika.

8.1 Test przetwornika piezoelektrycznego

Pierwszym testem był test przetwornika, który jest nadajnikiem sygnału. Zasilono go bezpośrednio z generatora wbudowanego w oscyloskop, parametry zadane to sygnał sinusoidalny o napięciu 5 V „peak to peak” czyli wartości szczytowej. Elementem odbiorczym był inny przetwornik piezoelektryczny służący tylko do testów, został on umieszczony w odległości 10 cm od nadajnika. Jego częstotliwość rezonansowa również wynosiła 40 kHz. Po podłączeniu sondy oscyloskopu do odbiornika ukazał się bardzo wyraźny sygnał w kształcie sinusoidy ustawionej na nadajniku. Dźwięki otoczenia miały bardzo znikomy wpływ na zakłócenia, stanowiąc niewielki procent amplitudy. Zmiana częstotliwości o chociażby 1 kHz wiązała się kilkudziesięciokrotnym spadkiem mocy sygnału, co potwierdzało dane z noty katalogowej elementu piezoelektrycznego.

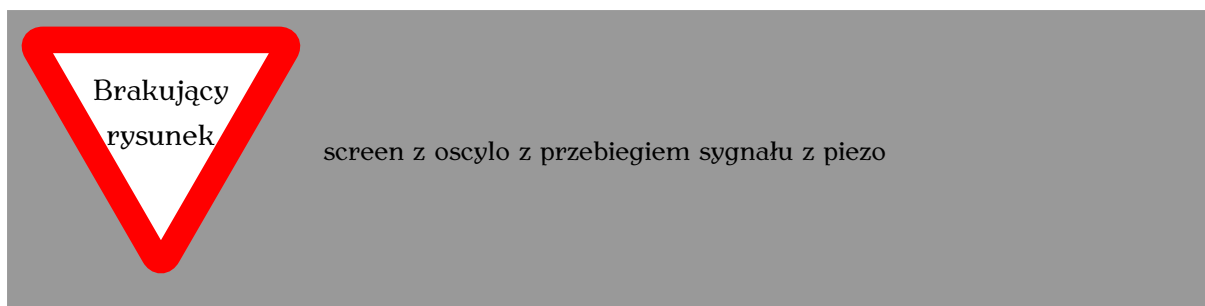


Rysunek 8.1 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

8.2 Test wpływu odległości na sygnał

Z identycznym stanowiskiem pomiarowym co sekcję wyżej sprawdzono wpływ odległości czujników na moc i przesunięcie fazy sygnału.

zdjęcie z oscylo z przesunię-
tym sygna-
łem i kilka
testów na
różne odle-
głości



Rysunek 8.2 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym, wpływ na odległość

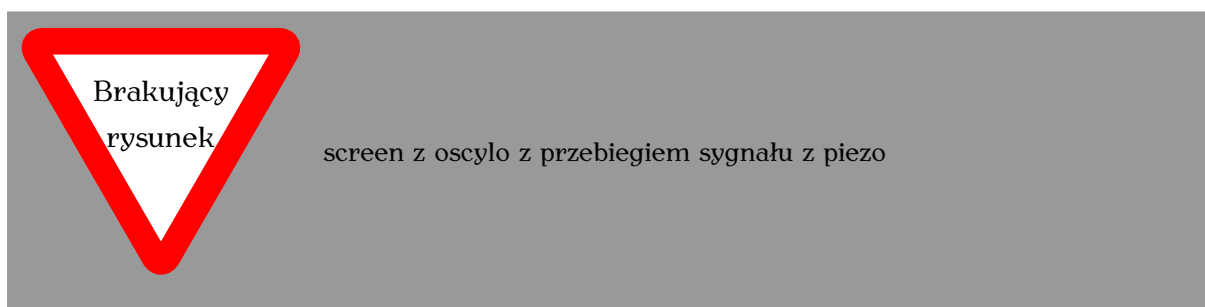
8.3 Pierwsze uruchomienie

PCB z przylutowanymi elementami zostało podłączone do zasilacza laboratoryjnego dostarczającego 5 V i ograniczeniem prądowym ustawionym na 100 mA. Pierwsze uruchomienie sterownika sonaru ujawniło drobny błąd projektowy, wszystkie diody elektroluminoescencyjne zostały przylutowane w złej polaryzacji. Szybka zmiana ustawień diod i następne uruchomienie, nie pokazywało oznak większych błędów. Pobór prądu wyniósł, a temperatura elementów na płytce nie odstawała od temperatury pokojowej.

???

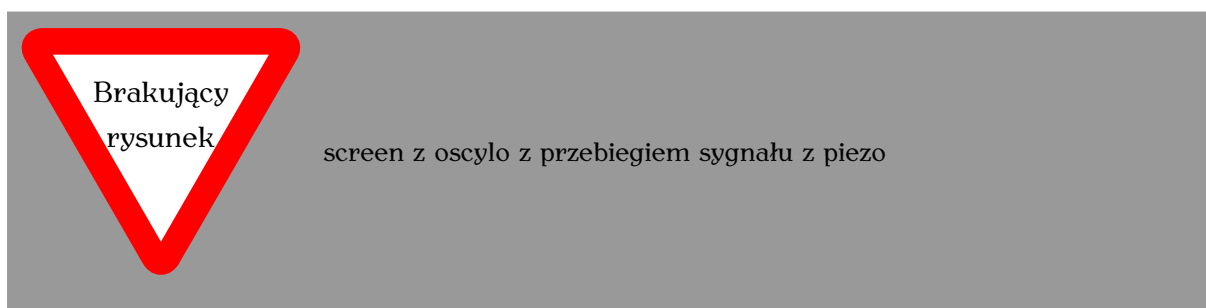
podać ile prądu ciągnie

8.4 Uruchomienie i test wzmacniacza sygnału przetwornika piezoelektrycznego



Rysunek 8.3 Nadajnik sterowany przez wzmacniacz

8.5 Test mikrofonów i filtrów



Rysunek 8.4 Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym

Rozdział 9

Podsumowanie i wnioski

Ten rozdział pisze się jako przedostatni. Ostatnim jest "Wstęp"

Literatura

[KiC] kicad. <https://www.kicad.org/>.

[kno] Knowles corporation (nyse: Kn) is a market leader and global provider of advanced micro-acoustic, audio processing, and precision device solutions, serving the ... <https://www.knowles.com/>.

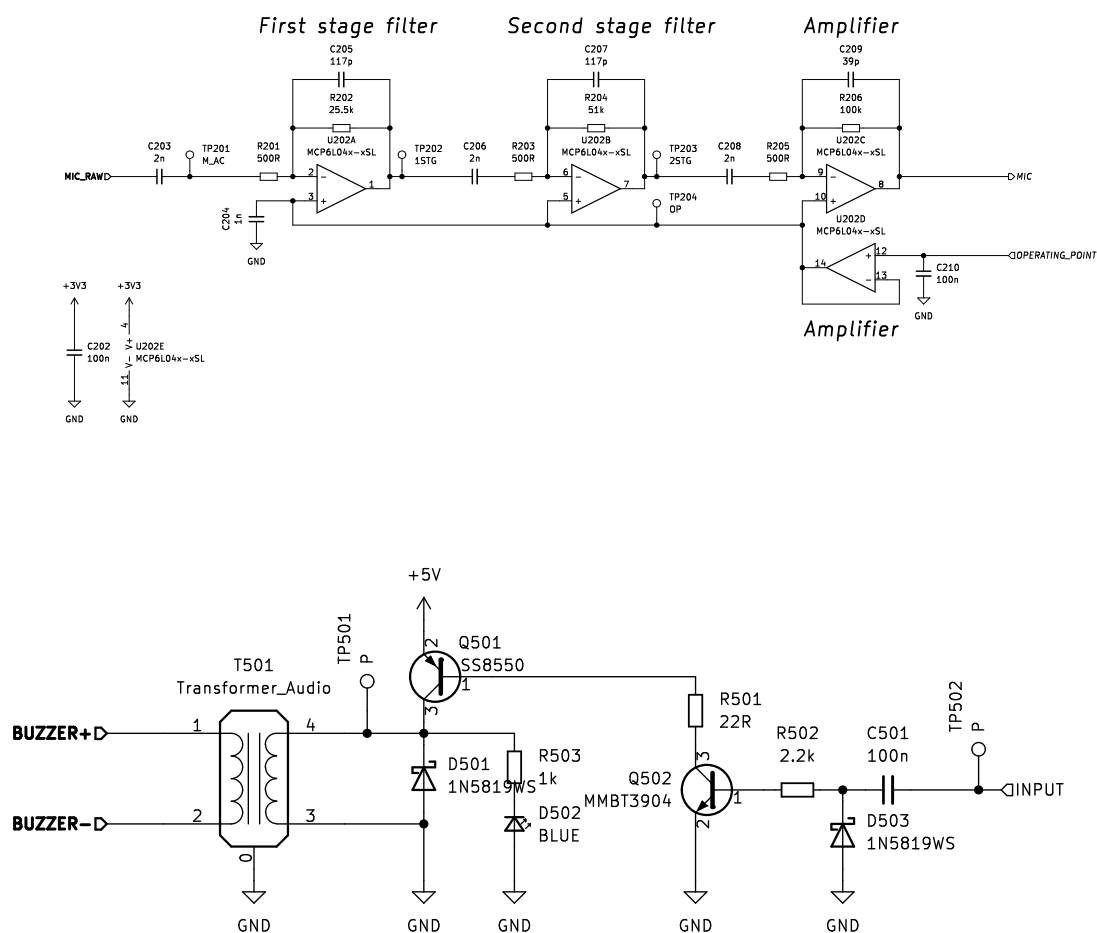
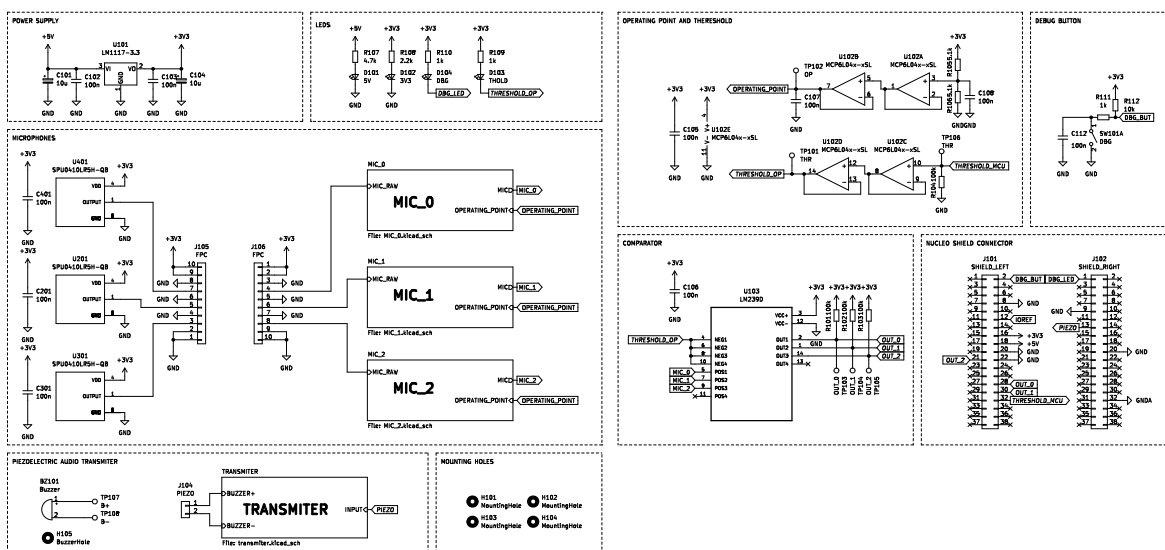
[Wik] Wikipedia. Prędkość dźwięku. https://pl.wikipedia.org/wiki/Pr%C4%99dko%C5%9B%C4%87_d%C5%BAwi%C4%99ku.

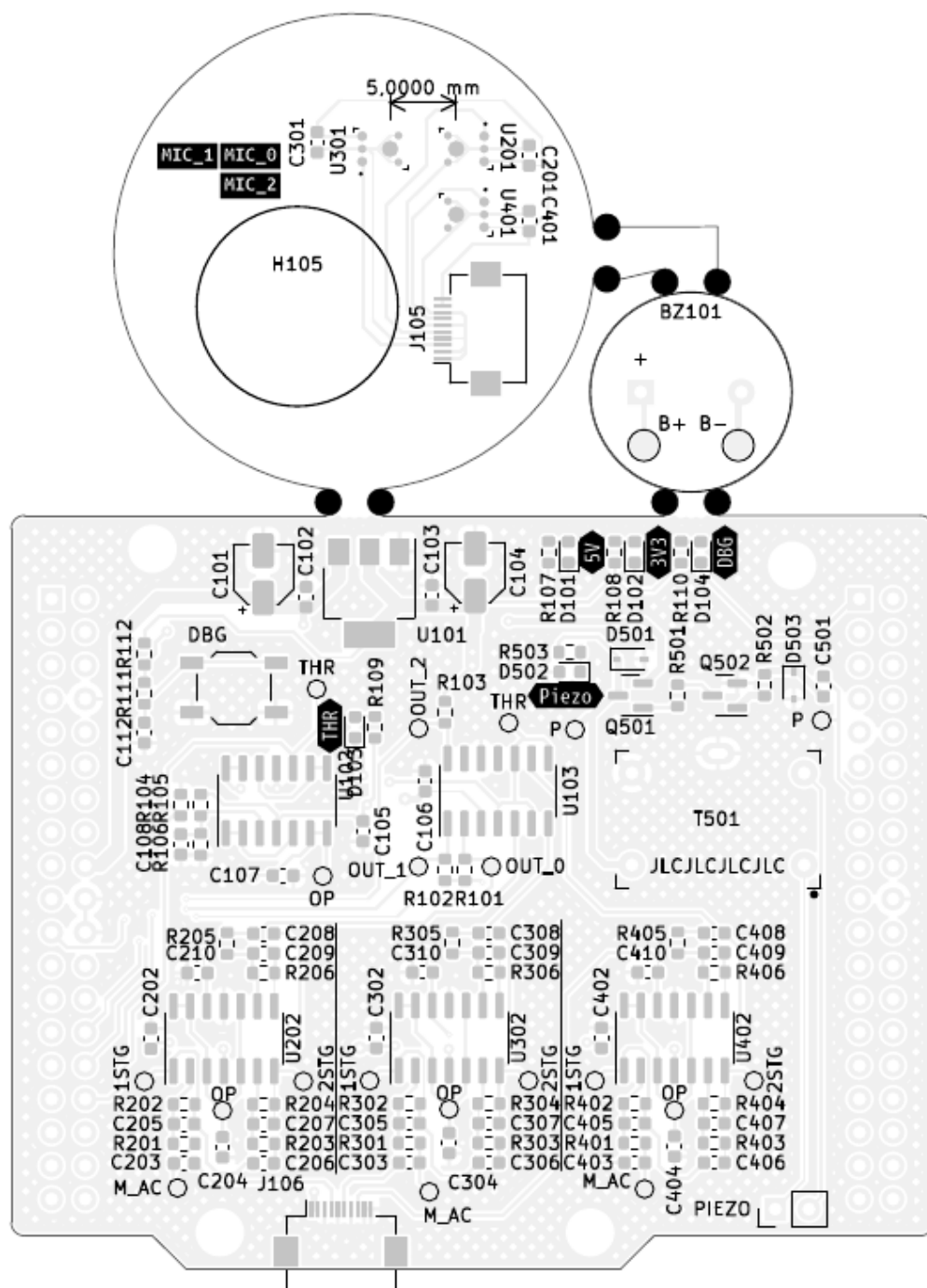
Spis rysunków

3.1	Pasma przenoszenia mikrofonu SPU0410LR5H-QB	6
3.2	Obliczenie długości fali	6
3.3	Mikrofon SPU0410LR5H-QB	7
3.4	TOPOSENS ECHO ONE	7
4.1	Schemat blokowy urządzenia	9
4.2	Rozmieszczenie mikrofonów	9
6.1	Ramka danych przychodzących	12
6.2	Ramka danych wychodzących	13
6.3	Stabilizator napięcia	13
6.4	Nadajnik piezoelektryczny	14
6.5	Wzmacniacz sygnału nadajnika piezoelektrycznego	14
6.6	Zestaw filtrów dla sygnału z mikrofonów	15
6.7	Wzmacniacz prądowy napięcia odniesienia	15
6.8	Wzmacniacz wartości progowej	16
6.9	Czterokanałowy komparator	16
6.10	Konfiguracja pinów mikrokontrolera	17
6.11	Konfiguracja zegarów mikrokontrolera	17
7.1	PCB	18
7.2	Moduł nadawczo-odbiorczy	19
7.3	Nakładka na Nucleo	19
8.1	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	20
8.2	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym, wpływ na odległość	21
8.3	Nadajnik sterowany przez wzmacniacz	21
8.4	Przebieg sygnału odebrany innym przetwornikiem piezoelektrycznym	22

Dodatek A

Schematy i noty katalogowe





Do zrobienia

dodać źródło obrazka	7
sprawdzić czy na pewno	10
zrobić ładniejszą ramkę	12
zrobić ładniejszą ramkę	12
pokazać jak wygląda shield	13
wstawić diagram funkcjonalny	13
dodać model przetwornika	13
dodać źródło	13
akapity	14
opisać obszernie wybór wzmacniaczy operacyjnych	15
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	20
zdjęcie z oscylo z przesuniętym sygnałem i kilka testów na różne odległości	20
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	21
???	21
podać ile prądu ciągnie	21
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	21
Rysunek: screen z oscylo z przebiegiem sygnału z piezo	22